



Universitat de Lleida

TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: SERGIO CHINÉ ROCA

Titulació: GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA

Títol de Treball Final de Grau:

SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN ENERGÉTICA DE CALDERA

Director/a: JORDI PALACÍN

Presentació

Mes: Maig

Any: 2018

Contenido:

INTRODUCCIÓN	4
MOTIVACIÓN	5
ALCANCE	6
ARQUITECTURA DE LA INSTALACIÓN A CONTROLAR	7
DESCRIPCIÓN	7
ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....	7
CALDERA:	8
ELEMENTOS EMISORES:	9
BOMBAS CIRCULADORAS:	9
VALVULAS DE CONTROL:	10
DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL.....	12
CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE Y COMUNICACIONES	13
MEMORIAS LADDER Y PROGRAMACIÓN	15
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS	16
HORAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	17
CÁLCULO DE POTENCIA DEL SISTEMA.....	18
ENVÍO DE E-MAIL.....	19
CREACIÓN DE TABLA DE DATOS	20
ALMACENAMIENTO DE DATOS EN TARJETA SD	21
CREACIÓN DE GRÁFICOS.....	23
Remote Operator Mobile Application TM	25
PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA SCADA.....	26
COMPONENTES UTILIZADOS.....	31
CONTROLADOR.....	31
MÓDEM	33

EXPANSIÓN DE COMUNICACIÓN: V100-17-ET2	35
MÓDULOS DE EXPANSIÓN.....	36
CAJA DE PROTECCIÓN.....	39
SENSOR DE TEMPERATURA	40
SENSOR DE NIVEL	40
CAUDALÍMETRO.....	41
PROPUESTA ECONÓMICA	43
MATERIAL DE LABORATORIO	43
MANO DE OBRA.....	44
PRESUPUESTO TOTAL	44
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS.....	46

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es la monitorización y el control energético de un sistema de calefacción situado en una sala de oficinas. Para facilitar el proceso, se utilizará un autómata programable y se creará un sistema SCADA, con el cual tendremos la posibilidad de actuar mediante una aplicación móvil en su plataforma Android. Además de la instalación de todos los elementos de instrumentación, como sensores de temperatura, caudal o nivel.

La normativa española define climatizar como: “dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad del aire y a veces también de presión, necesarias para la salud o la comodidad de quienes lo ocupan”.

Los Sistemas de monitorización tienen por objeto proveer información sobre parámetros energéticos de una instalación para la optimización de la gestión de los consumos energéticos. Hablamos de telecontrol cuando el sistema permite la actuación sobre la instalación monitorizada de forma remota. La monitorización nos permite tomar conciencia sobre los consumos y la información que aporta es la base de la gestión energética y el telecontrol nos permite operar sobre las instalaciones para optimizar los consumos.

“La monitorización proporciona una correcta gestión energética y conlleva ahorros en ocasiones superiores al 20% sin necesidad de realizar inversiones en renovación de instalaciones”.¹

¹ fuente: Asociación de Empresas de Eficiencia Energética

MOTIVACIÓN

La motivación principal del siguiente proyecto viene dada por el auge que está experimentando la automatización industrial en todas sus ramas a lo largo de estos últimos años. Haciendo a las empresas e industrias del sector cada vez más competitivas.

La automatización Industrial es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc. La automatización de una empresa dependiendo del proyecto puede ser parcial o total, y se puede ajustar a procesos manuales o semiautomáticos.

La automatización de las plantas industriales es un aspecto muy importante en el crecimiento de las empresas ya que se ven en la necesidad de:

- Incrementar la demanda del producto.
- Ofrecer productos de mejor calidad.
- Optimizar los procesos.
- Optimizar el consumo de energía.

ALCANCE

El alcance de este proyecto empieza por analizar en lo que a nivel de control se refiere la caldera disponible de nuestra instalación. Además veremos si es necesario aplicar algún cambio en su sistema eléctrico e informático con tal de comunicarnos con el servidor.

Aunque los cambios más significativos los encontraremos en la aparición del controlador y de la estación SCADA (Supervisión-Control-Adquisición de Datos). Explicaremos de forma detallada las características técnicas del controlador seleccionado, así como toda su programación.

Por tanto, las partes de ingeniería básica y de detalle de este proyecto son:

- I. Descripción de la arquitectura de la instalación a controlar.
- II. Diseño de la arquitectura del sistema de control y su instalación.
- III. Elección de los elementos de control tales como: controladores, módulos de expansión, entradas y salidas, sensores y actuadores.
- IV. Cálculo de puesta en marcha del programa y del sistema SCADA.
- V. Protocolos de comunicación y transmisión de datos del controlador.
- VI. Diseño y creación de gráficos, almacenamiento de datos y creación de alarmas.
- VII. Análisis de la propuesta económica.

ARQUITECTURA DE LA INSTALACIÓN A CONTROLAR

DESCRIPCIÓN

La instalación a controlar está formada por una sala de oficinas situada en Fraga. En ella ya se pueden encontrar tanto las máquinas como los elementos de campo que realizan el proceso de calefacción. Por tanto, es necesario proporcionar todo lo referido a elementos de instrumentación y aparatos de control, para que nuestro sistema pueda funcionar de forma autónoma según las exigencias del cliente y la normativa vigente.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN

A continuación se hará una breve introducción a las diferentes partes de un sistema de calefacción, de forma que describiendo los principales elementos, se pueda entender mejor su funcionamiento. Apoyándonos en el siguiente esquema:

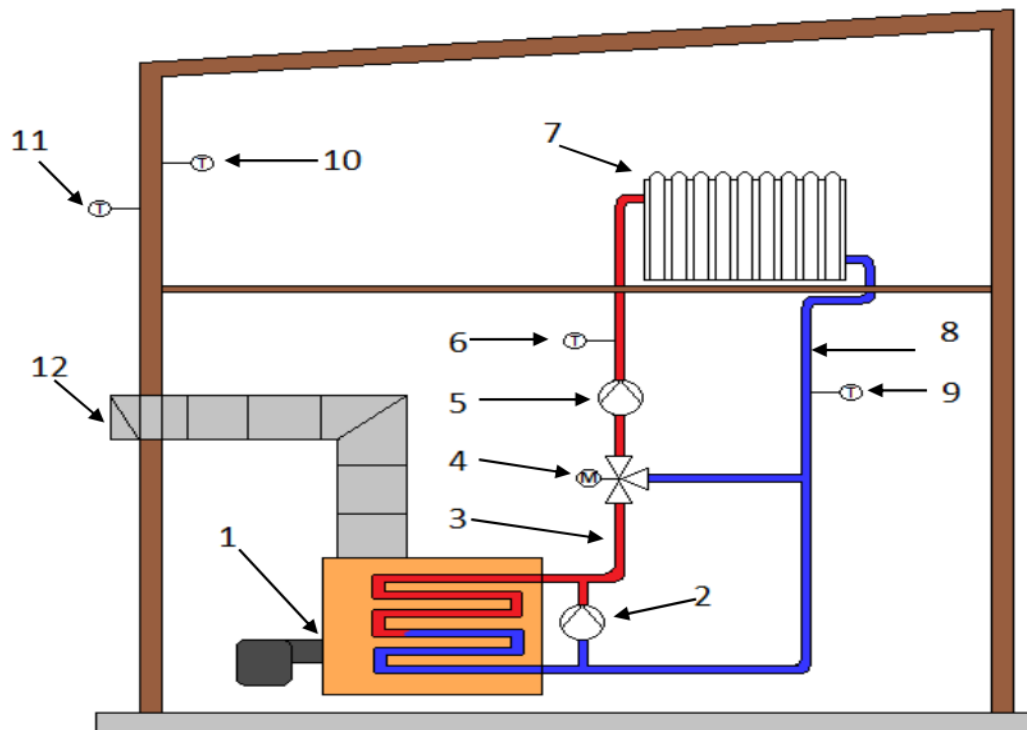


Ilustración 1: Esquema de calefacción

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1. Caldera-Quemador | 7. Emisor-Radiador |
| 2. Bomba circuladora | 8. Tubería de retorno |
| 3. Tubería de impulsión | 9. Sonda de Tª de retorno |
| 4. Válvula motorizada de tres vías | 10. Sonda de Tª ambiente |
| 5. Bomba de impulsión | 11. Sonda de Tª exterior |
| 6. Sonda de Tª de impulsión | 12. Chimenea |

CALDERA:

La caldera es la parte donde se calienta el fluido caloportador, que en nuestro caso es el agua, con la ayuda de un combustible (gasóleo). El agua calentada será enviada a los radiadores y a nuestro sistema de agua caliente sanitaria. Los principales elementos de la caldera son el quemador, la chimenea y la cámara intercambiadora de calor.

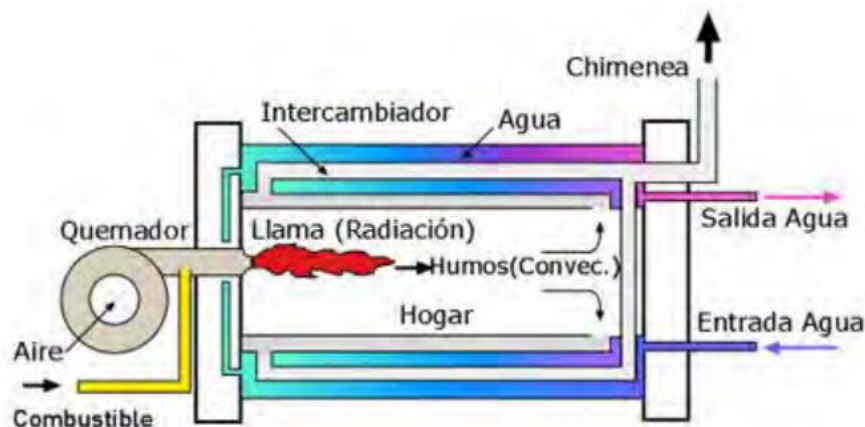


Ilustración 2: Esquema de caldera

- El quemador se encarga de generar una llama gracias al combustible y el aire. Suele ser común que regule la entrada de combustible según la demanda de calor.
- La cámara intercambiadora de calor (hogar) es el hueco donde se produce la combustión, y donde se transfiere el calor por radiación y convección con el agua.

- La chimenea se encarga de expulsar los humos al exterior. Se sitúa en la parte superior, ya que cuando el calor aumenta en el agua, disminuye la presión y temperatura de los humos.

ELEMENTOS EMISORES:

Los emisores son los elementos que intercambian calor al interior de nuestra sala de oficinas. Los más conocidos son los radiadores y los suelos radiantes. Esta transferencia de calor se realiza en gran parte por convección, transportando energía calorífica dentro del fluido caloportador, debido a su densidad (desplazamiento de moléculas).

BOMBAS CIRCULADORAS:

Las bombas hidráulicas son las máquinas que se encargan de aumentar la presión en el fluido caloportador. Este al ser incompresible, puede ser desplazado en distancias largas o elevado a diferentes alturas.

En el sistema de calefacción se encuentran:

- Bombas de impulsión: Son las que elevan la presión del agua en las tuberías de impulsión para que esta llegue a los radiadores.
- Bombas de circulación: Son las que disminuyen la presión en el circuito de retorno, facilitando así la recirculación del fluido.

Las más comunes son las bombas centrífugas, donde el rodete impulsor es gobernado por un motor eléctrico. De esta forma aprovechan la acción centrífuga aumentando la presión del caloportador.

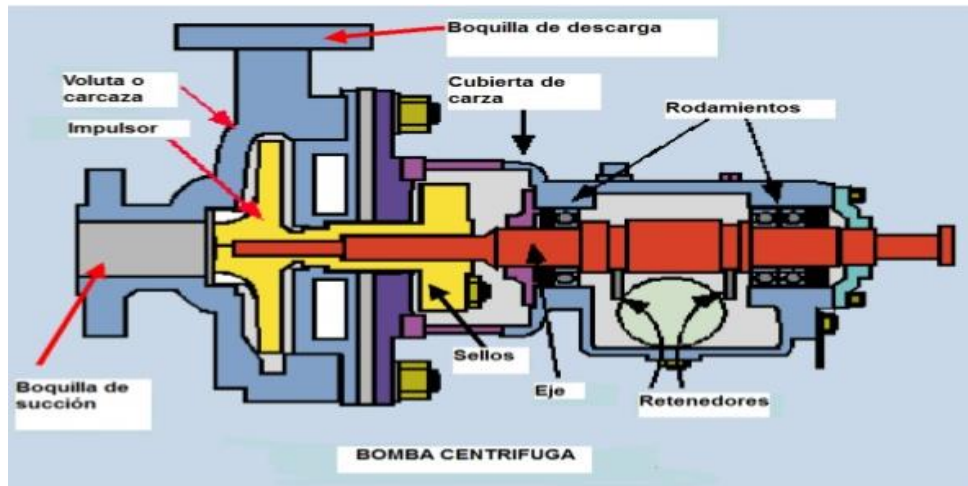


Ilustración 3: Esquema bomba circuladora

VALVULAS DE CONTROL:

En cada sistema de calefacción apreciamos varios tipos de válvulas que regulan el paso de líquidos. Fijándonos en la regulación de temperatura, la cual abarca este proyecto, se encuentran válvulas de tres vías (mezcladoras o divisoras).

- Mezcladora: Es una válvula con dos entradas y una salida. Su función es regular la temperatura de impulsión, mezclando el agua que sale de la caldera con la que regresa a ella (retorno).

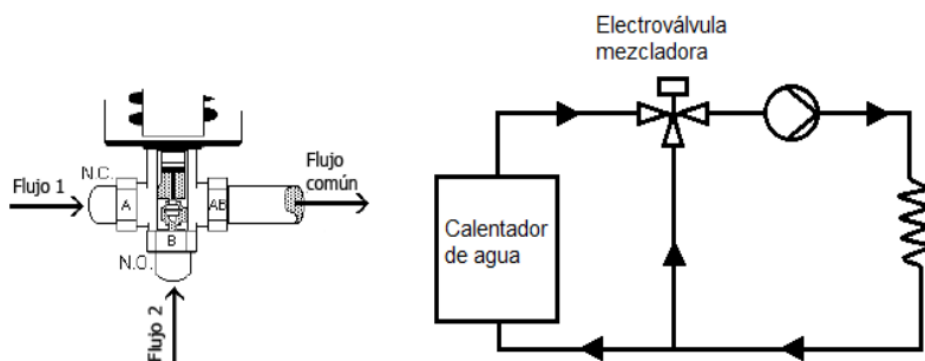


Ilustración 4: Válvula mezcladora

- **Diversora:** Es una válvula con una entrada y dos salidas. Con ella se reparte el caudal de la caldera, entre los circuitos de impulsión y de retorno.

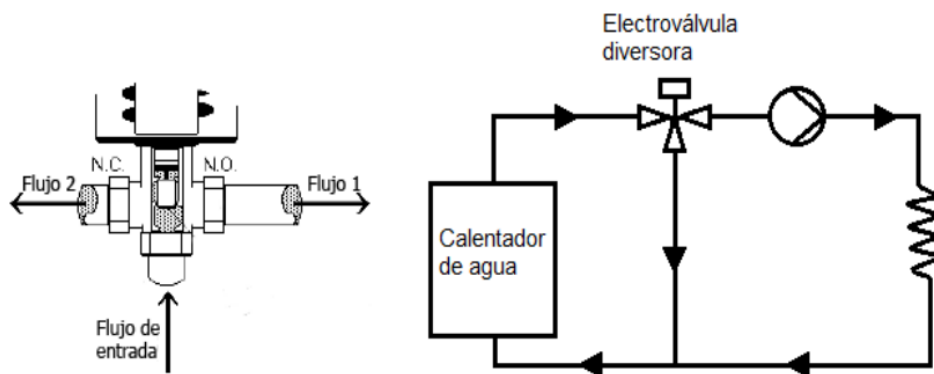


Ilustración 5: Válvula diversora

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL.

El proceso comienza con la combustión de gasóleo como combustible líquido. La forma en la que el quemador lleva a cabo este proceso, está totalmente controlada, ya que este ajusta mediante una electroválvula la entrada del combustible a la demanda de calor.

La caldera, situada en un piso inferior al piso de acondicionamiento, tendrá que bombear el agua calentada por la red de impulsión hasta los elementos emisores y puntos de agua caliente sanitaria (a partir de ahora ACS). La temperatura se regula mediante la acción de las válvulas mezcladoras y divisoras mencionadas anteriormente.

Cuando el agua cede el calor a los radiadores, estos lo ceden al exterior, logrando así enfriar el agua y de esta forma regresa por el circuito de retorno, nuevamente para iniciar el proceso.

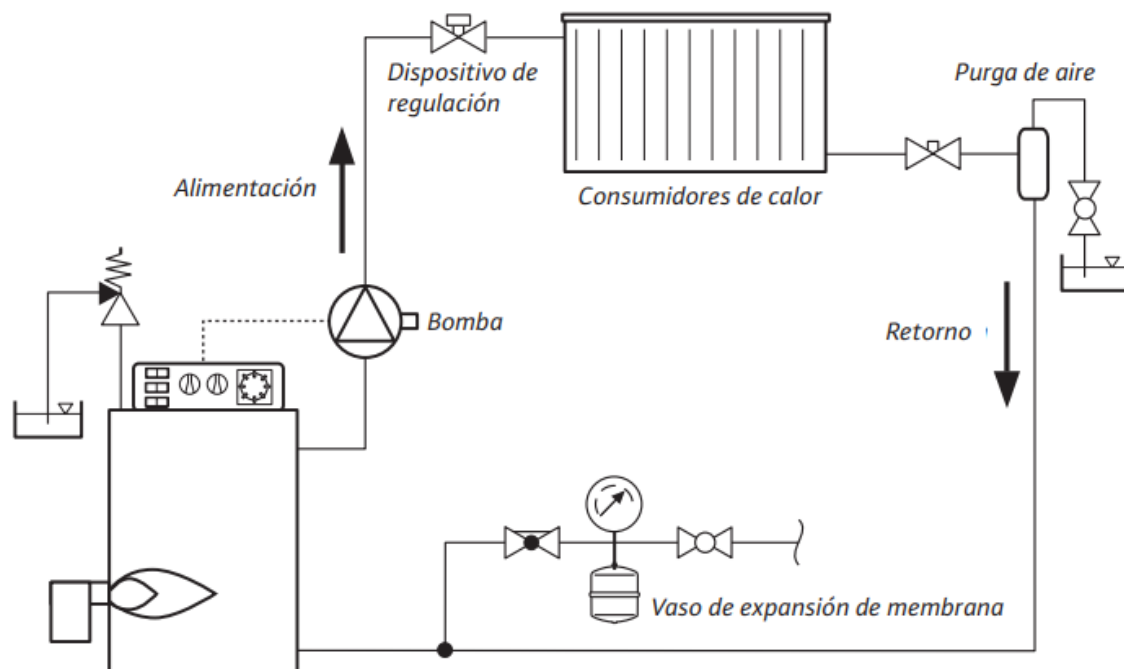
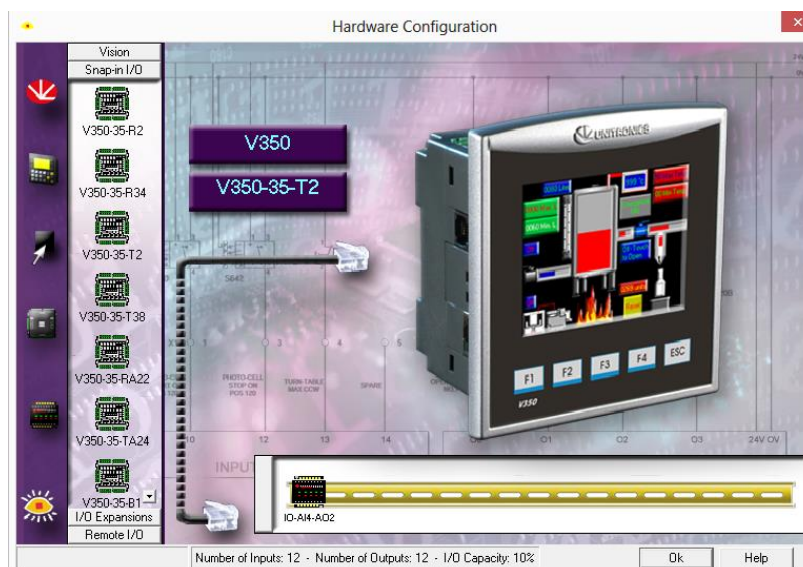


Ilustración 6: Sistema de calefacción cerrado

CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE Y COMUNICACIONES



Il·lustració 7

El primer paso a realizar es la configuración del PLC V350-35-T2 y el módulo de expansión IO-AI4-AO2, para colocar cada elemento de entrada o salida en su pin correspondiente. Un esquema de los elementos de entrada y salida que se han escogido son:

Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas Analógicas
SETA DE EMERGENCIA	ABRIR VALVULA GAS OIL	ENTRADA T IMPULSIÓN
NIVEL GASOIL	PILOTO FALTA GAS OIL	ENTRADA VALOR CAUDAL
-	BOMBA ACS	ENTRADA T RETORNO
-	CALDERA GAS OIL	ENTRADA T EXTERIOR
-	-	ENTRADA T INTERIOR

Entradas digitales ("0 o 1"):

- La "SETA DE EMERGENCIA" permitirá detener el proceso y volverlo a poner en marcha. El "NIVEL DE GASOIL" será accionado por un sensor de nivel, con el cual se activa un proceso de pedido de gasoil mediante email (a partir de un 30 % de la capacidad del depósito).

Salidas digitales (“0 o 1”):

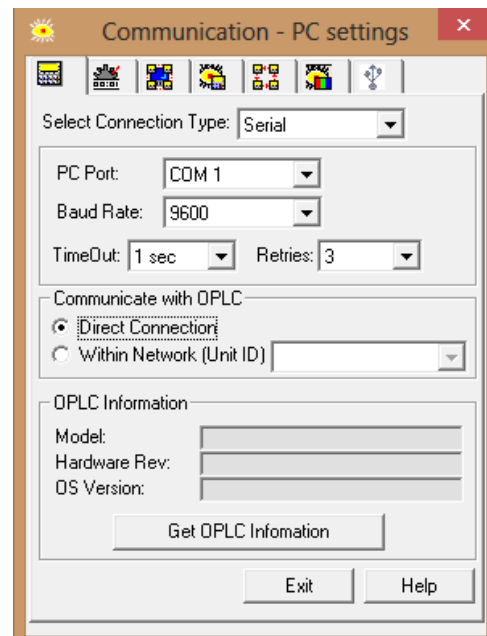
- “ABRIR VALVULA GAS OIL” se cerrará cuando haya un paro de emergencia, y se abrirá cuando se reinicie el proceso.
- “PILOTO FALTA DE GAS OIL” se activará al alcanzar un 30% de combustible en el depósito.
- La “BOMBA ACS” funcionará al alcanzar la temperatura de consigna fijada en el menú ajustes “ACS”, deteniéndose cuando cumpla con la condición de “DIFERENCIAL TEMP”.
- “CALDERA GAS OIL” indicará “0” o “1” según si esta aparece apagada o encendida. Se utilizará entre otras como condición para el paro de emergencia y el cálculo de la potencia consumida. Más tarde se explica con detalle este cálculo.

Entradas Analógicas (“4 - 20 mA”):

- Todas estas entradas son o bien de medición de caudal, o de temperatura. Para las entradas de temperatura se adaptará un transductor del tipo “Baumer FlexTop 2202” acondicionador de la señal como se explica en la lista de material utilizado.

Para cargar el programa al PLC, hay que establecer un enlace con un ordenador. Como podemos ver en la imagen, la comunicación entre ambos la realizaremos conectándolos con “Serial RS 232”.

Una vez reconocido el puerto, se debe fijar la velocidad de transmisión de datos en 9.600 baudios. Configurar el tiempo de espera y el número de intentos de comunicación y reconocer el modelo del autómatas y su versión.

*Ilustración 8*

MEMORIAS LADDER Y PROGRAMACIÓN

Una vez dentro del entorno de programación, tene

una gran posibilidad de uso de distintas memorias que se han resumido en la siguiente tabla:

MEMORIAS	Nº DE MEMORIAS DISPONIBLES
INPUTS	544
OUTPUTS	544
TIMERS	384
MEMORY BITS	8192
MEMORY INTEGER	4096
MEMORY LONG	512
DOUBLE WORD	256
X BITS	1024
X INTEGER	512
X LONG	256
X DOUBLE WORD	64
MEMORY FLOAT	64
SYSTEM BITS	512
SYSTEM INTEGER	512
SYSTEM LONG	56
SYSTEM DOUBLE WORD	64
COUNTERS	32

- Los elementos “Inputs” y “Outputs” son elementos binarios (0 o 1) con posibilidad de conectar tanto al controlador como a sus módulos de expansión.
- Los “X operands” se procesan dentro de la memoria RAM de la CPU. Se suelen utilizar en subrutinas donde el tiempo de escaneo es crítico, como por ejemplo durante la interrupción Rutinas. Hay que tener en cuenta que los valores de “X operands” no se conservan.
- Los “System Operands” están compuestos por funciones y valores del sistema operativo del controlador. Muchos están vinculados a parámetros fijos y son solo de lectura, otros en cambio pueden ser escritos por el programa. Por ejemplo, para calcular la temperatura interna actual del controlador, es posible contar con SI 14, que es solamente de lectura.

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS

Nuestras señales analógicas de entrada tendrán que ser acondicionadas para no tener errores de precisión en ellas. Este proceso no será necesario en el caudalímetro, ya que este ya proporciona una señal de 4-20 mA, por tanto se aplicará a los sensores de temperatura PT-100.

Entre el autómatas y el punto de medición, se colocará un transductor “Bourdon FlexTop 2202” de 3 hilos de conexión. Este nos proporcionará una señal de corriente de 4-20 mA permitiendo tomar la medición a más de 10 metros del controlador.

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y más utilizado para procesos industriales resuelve bien el problema de error generado por los cables de la conexión a 2 hilos. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el “puente de Wheatstone”.

Una vez obtenida una señal 4-20 mA, linealizaremos la entrada en el Ladder. Para que el programa transforme los valores analógicos a su equivalente en **10 bits**: esto significa que Y1= -25 °C equivaldrán a X1= 0 (4 mA) y que Y2= 100 °C equivaldrán a X2= 1023 (20mA).

En la imagen podemos ver como se actualizan cada segundo los valores del sensor:

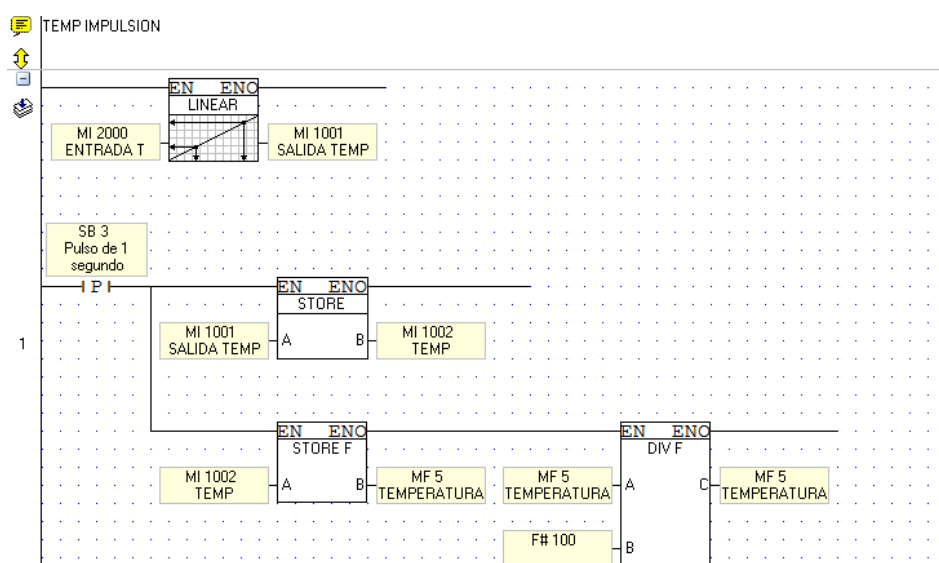


Ilustración 9

HORAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para contar las horas que la caldera está en marcha, se plantea el siguiente diagrama:

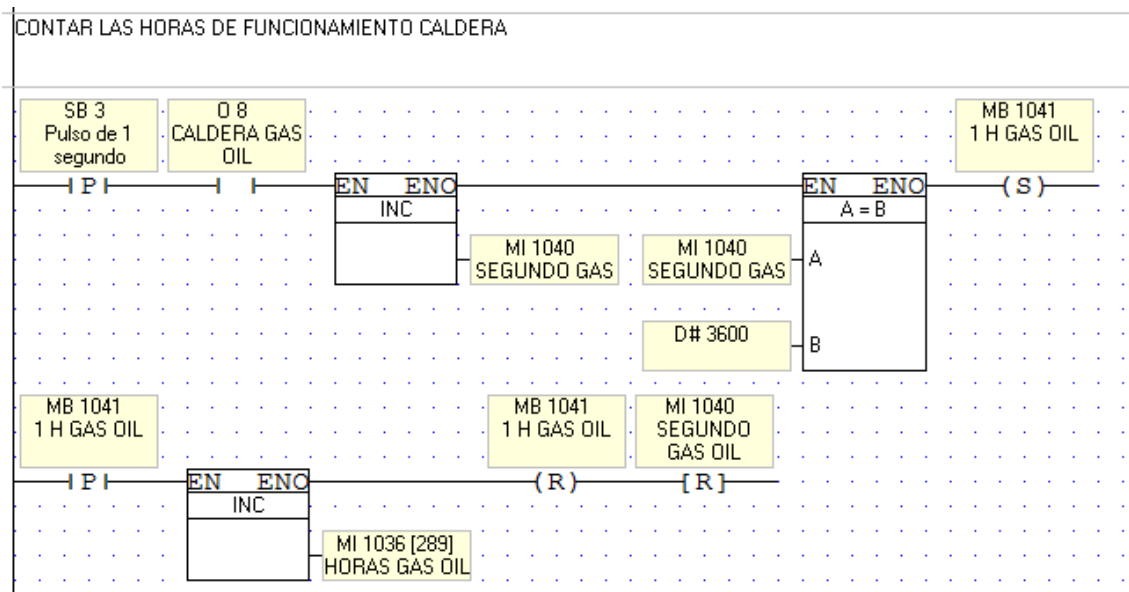


Ilustración 10

Si la caldera está en marcha, cada segundo se incrementará la memoria MI 1040 hasta que llegue a contar una hora. Activando la memoria MB 1041, lo que automáticamente hará aumentar el valor de las horas. Guardándose en MI 1036 y haciendo un reset numérico a los segundos para que vuelvan a contar desde cero, y a MB 1041 para que tenga nuevamente su valor inicial.

CÁLCULO DE POTENCIA DEL SISTEMA

Para calcular la potencia absorbida, nos fijaremos en la siguiente ecuación, aplicable para fluidos como el agua:

$$P = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \Rightarrow \left[\frac{Kcal}{h} \right] = \left[\frac{l}{h} \right] \cdot \left[\frac{cal}{g \cdot ^\circ C} \right] \cdot [^\circ C]$$

La capacidad calorífica específica o calor específico (C_p) es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad.

Una vez extraídos los valores de temperatura de impulsión y de retorno en grados centígrados, y el valor del caudal que circula a través de la bomba en litros / hora, sabiendo que el calor específico en el agua es de 1 caloría/gramo $^\circ C$, y aplicando factores de conversión se obtiene:

$$\frac{1 Kcal}{h} \cdot \frac{4,184 KJ}{1 Kcal} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \Rightarrow \frac{1 Kcal}{h} = 0,001163 KW$$

Por tanto, expresando la potencia en KW:

$$0,001163 \cdot P = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [KW]$$

$$P = 859,85 \cdot Q \cdot \Delta T \quad [KW]$$

$$Q = \text{Caudal} \quad [l/h]$$

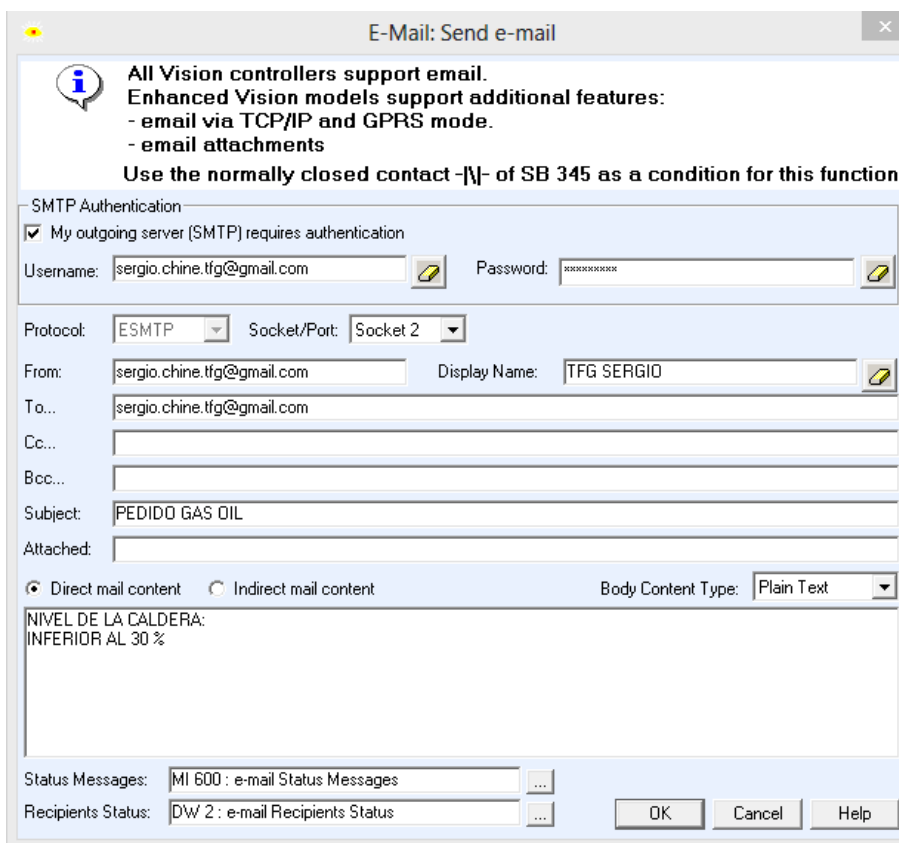
$$\Delta T = (T^a \text{ impulsión} - T^a \text{ retorno}) \quad [^\circ C]$$

ENVÍO DE E-MAIL.

La función de envío de e-mail, permite al controlador enviar un correo electrónico en respuesta a unas determinadas condiciones que definidas previamente en el Ladder. Lo único que se necesita es conectar un cable de red Ethernet a nuestro puerto TCP / IP, además de disponer de un servidor de correo propio.

Se ha diseñado un apartado de envío de e-mail para notificar al usuario o bien a la empresa encargada del mantenimiento, de alguna anomalía.

Como vemos en la ilustración 11, se enviará un correo a la empresa proveedora de combustible, si la memoria "I1" se activa (nivel de gasoil por debajo del 30%) y transcurren 10 segundos.



E-Mail: Send e-mail

All Vision controllers support email.
Enhanced Vision models support additional features:
- email via TCP/IP and GPRS mode.
- email attachments
Use the normally closed contact -I1- of SB 345 as a condition for this function

SMTP Authentication:
☒ My outgoing server (SMTP) requires authentication

Username: sergio.chine.tfg@gmail.com Password: [REDACTED]

Protocol: ESMTP Socket/Port: Socket 2

From: sergio.chine.tfg@gmail.com Display Name: TFG SERGIO

To: sergio.chine.tfg@gmail.com

Cc:

Bcc:

Subject: PEDIDO GAS OIL

Attached:

☒ Direct mail content ☐ Indirect mail content Body Content Type: Plain Text

NIVEL DE LA CALDERA:
INFERIOR AL 30 %

Status Messages: MI 600 : e-mail Status Messages

Recipients Status: DW 2 : e-mail Recipients Status

OK Cancel Help

Ilustración 11

Es posible seleccionar hasta 8 destinatarios en cada categoría y escribir el texto deseado para el destinatario. Además se enviará otro correo en el caso de que la temperatura de retorno sea inferior a 40 °C, lo que significa que se tendrá que enviar a un técnico a la instalación.

CREACIÓN DE TABLA DE DATOS

Se ha pensado en almacenar datos importantes para el controlador en una memoria SD externa. Para poder guardarlos, primero se necesitará una tabla de datos, cuyo nombre será “HISTÓRICO” y en la que se tendrán propiedades de lectura y escritura de los mismos.

En primer lugar se creará una matriz de 1000 filas (desde la “0” hasta la “999”) y 10 columnas (desde la “0” hasta la “9”). Las filas estarán controladas por la memoria “MI 4000”, de esta forma escribirá todos los datos cada hora, ya que así queda programado (aunque el usuario lo puede modificar), y tras pasar por los 1000 registros, comenzará de nuevo el proceso, sobrescribiendo los datos.

Las columnas, como se muestra en la Ilustración 12, son los parámetros a almacenar, tales como temperaturas, potencia, hora, etc...

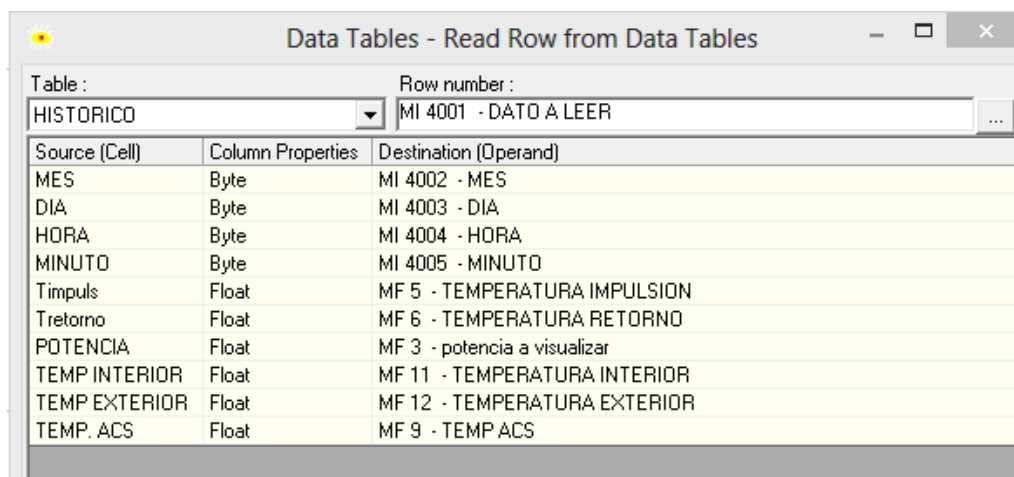


Table :	Row number :	
HISTORICO	MI 4001 - DATO A LEER	
Source (Cell)	Column Properties	Destination (Operand)
MES	Byte	MI 4002 - MES
DIA	Byte	MI 4003 - DIA
HORA	Byte	MI 4004 - HORA
MINUTO	Byte	MI 4005 - MINUTO
Timpuls	Float	MF 5 - TEMPERATURA IMPULSION
Tretorno	Float	MF 6 - TEMPERATURA RETORNO
POTENCIA	Float	MF 3 - potencia a visualizar
TEMP INTERIOR	Float	MF 11 - TEMPERATURA INTERIOR
TEMP EXTERIOR	Float	MF 12 - TEMPERATURA EXTERIOR
TEMP ACS	Float	MF 9 - TEMP ACS

Ilustración 12

Además en el apartado de lectura, se ha programado para visualizar los valores a través del HMI, pero sin poder cambiarlos: con dos botones se visualizan hacia adelante y atrás todas las muestras tomadas. Incrementando “MI 4001” (dato a leer), como vemos en la ilustración 13.

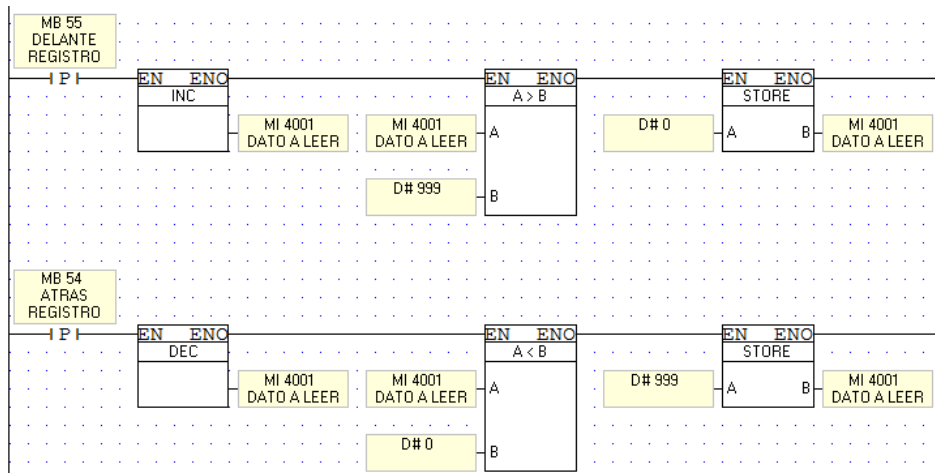


Ilustración 13

ALMACENAMIENTO DE DATOS EN TARJETA SD

Para copiar una tabla de datos de forma completa o parcial, se creará una red que incluya la función: “SD> Escribir tabla de datos en SD”. Usando un contacto invertido de SB 341 para asegurar de que el PLC no esté escribiendo datos en la tarjeta SD.

Cuando la aplicación escribe este tipo de datos en la tarjeta SD, crea un archivo con la extensión .udt en la carpeta DT seleccionada: DT principal o en una de las cuatro subcarpetas. DT1, DT2, DT3, o DT4. Cada carpeta puede contener 64 archivos, para un total de 320 archivos .udt

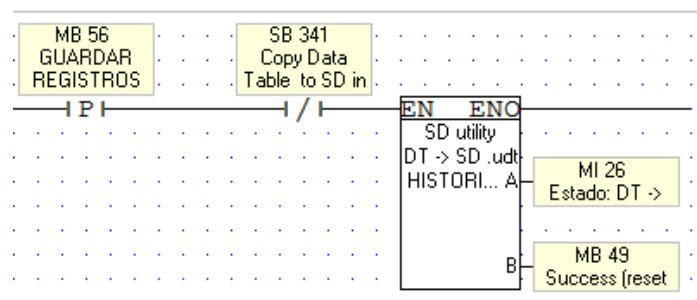


Ilustración 14

Como vemos en la ilustración 15, dentro de la opción “SD> Escribir tabla de datos en SD”, se convertirá la hora del reloj de RTC a ASCII, para darle nombre a la carpeta con los registros grabados.

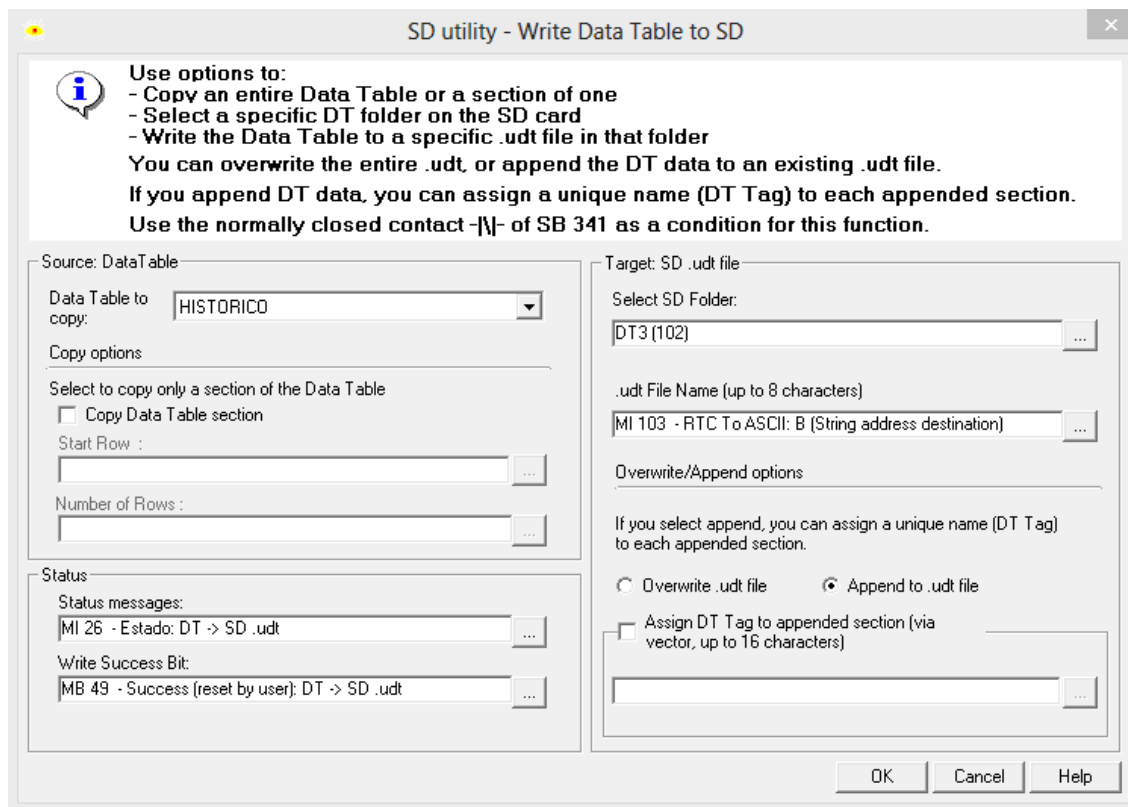


Ilustración 15

Es importante destacar que por cuestiones de espacio, el fabricante recomienda utilizar una tarjeta SD de al menos 1 GB de memoria. Teniendo que ser formateada mediante el programa “SD Tools”, de esta forma ser compatible con Unitronics para leer, exportar y convertir todo su contenido.

CREACIÓN DE GRÁFICOS



Ilustración 16: Gráfico de ejemplo

Se ha creado un menú de gráficos para poder visualizar todas las mediciones de temperatura y la potencia consumida por la caldera.

En él es posible visualizar la hora y fecha de la medida, y recorrer por los submenús las diferentes gráficas.

En la ilustración 16, podemos ver el ejemplo de la “temperatura exterior”.

Para ahorrar el uso de memoria “float”, se ha hecho uso de memoria “int” de tres dígitos para representar los valores, introduciendo la coma después de los dos primeros. Por ejemplo, el valor 321, correspondería a una temperatura de 32,1 °C.

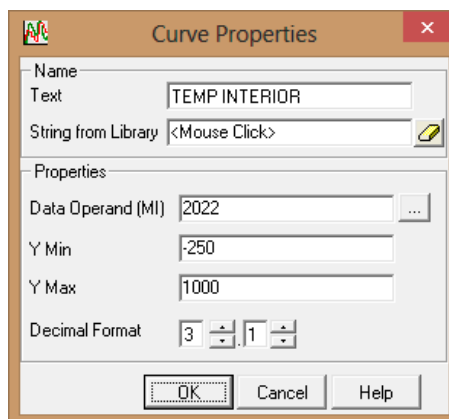


Ilustración 17

Como vemos, se ha configurado un rango de temperatura igual al de la señal analógica de entrada (-25 a 100 °C).

En la configuración del HMI, se ha ido probando hasta conseguir una visualización adecuada a nuestros registros. Configurando colores, resolución de medidas en pantalla, historial u otros parámetros, como podemos ver en la Ilustración 18.

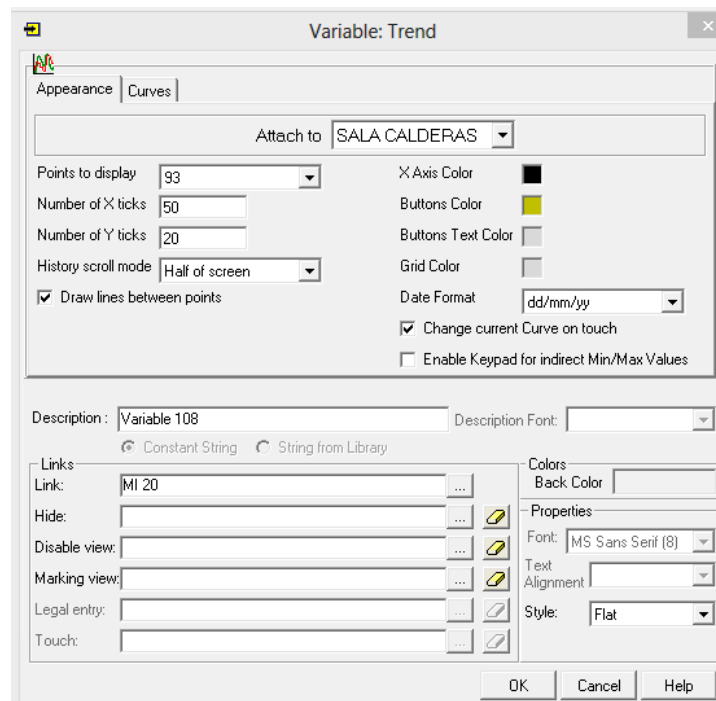


Ilustración 18

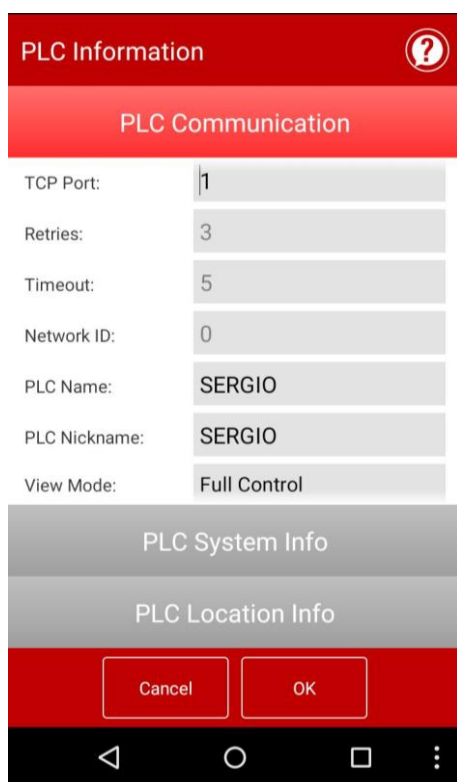
Remote Operator Mobile Application TM



Il·lustració 19

Unitronics ha desenvolupat una app per poder controlar des d'una tablet o des d'un telèfon mòbil nostre PLC de forma remota, podent veure alarmes, dades i gràfics en temps real. Aquesta és, amb les mateixes prestacions que el propi automàtic.

L'aplicació és gratuïta tant per Android com per iOS (se requereix tenir una versió mínima de Android 4.0+ o iOS 7+) i ens permet configurar l'accés a múltiples controladors des d'una mateixa compte.



Il·lustració 20

Nuestra cuenta está protegida con clave de seguridad. Para añadir un PLC, es necesario escribir el nombre del PLC (incluyendo las mayúsculas), la dirección IP y el puerto TCP de nuestra conexión a internet.

Estableciendo un modo de lectura o un modo de control total, para poder actuar o no en el controlador. Una vez esté la conexión lista ya es posible añadir nuestro PLC a la ventana de favoritos y entrar dentro del proyecto.

Dentro de él, es posible configurar la frecuencia de actualización (refresco) del proyecto, y pausarlo cuando convenga.

PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA SCADA

Tanto la programación del sistema HMI como la del lenguaje Ladder (escalera), se han llevado a cabo con el programa "Unitronics VisiLogic OPLC IDE" en su versión 9.2.0. Software que facilita gratuitamente el fabricante, aunque es importante hacer hincapié en la versión, puesto que es probable que con otra versión de programa no nos reconozca el archivo.

Como podemos ver en la pantalla táctil, nuestro inicio consta de un acceso a nuestra información de contacto (útil en caso de cualquier problema o consulta) y al menú principal.

A lo largo de todo el recorrido en cualquiera de los sub menús del programa, clicando la tecla "ESC" se retrocederá al apartado anterior, hasta llegar de nuevo al menú principal.

Por otra parte se explicará cuando sea necesario hacer uso de las teclas "F1 ... F4".

A continuación se verá cómo se sub divide el menú principal:



Ilustración 21: Inicio del autómata



Ilustración 22: información de contacto

Como podemos ver en la “ilustración 8”, aparece un listado de todos los submenús existentes en el autómata.

Se va a explicar que función tiene cada uno de ellos: En primer lugar, la sala de calderas, muestra la fecha y hora actual.

Se puede ver la temperatura de impulsión y de retorno de la red de agua. Comprobando a lo largo del programa se pueden apreciar algunos valores erróneos. Esto es debido a que en el momento de las capturas de pantalla no estaban conectados, obteniendo así valores aleatorios.

Más adelante se explica la linearización llevada a cabo para los sensores de temperatura PT-100.

En caso de tener un nivel de combustible inferior al 30%, el programa dará un aviso, y, enviará un pedido a nuestro proveedor mediante correo electrónico.

Por otro lado, aparece el contador de horas de funcionamiento y otro de la Potencia consumida por el sistema de calefacción.



Ilustración 23: menú principal

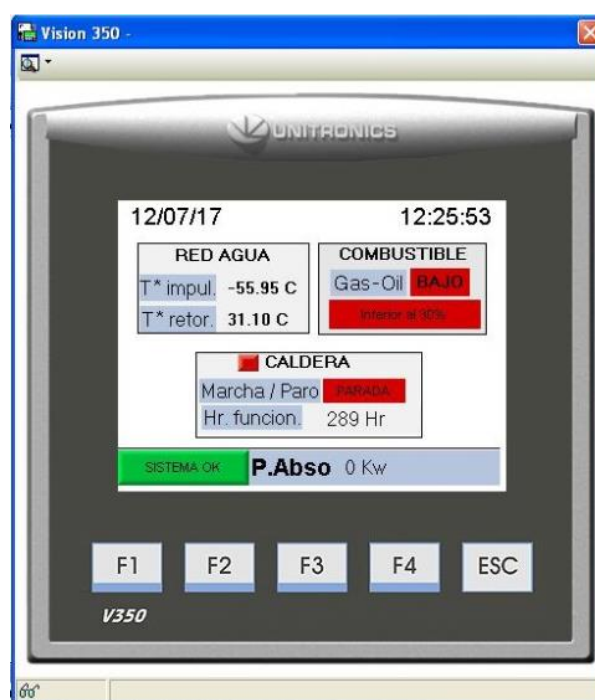


Ilustración 24: sala de calderas

En el sub menú temperaturas aparecen muestras del ACS, del interior y exterior de la oficina y las de impulsión y retorno vistas anteriormente.

Con el fin de poder comunicarnos desde el PC con el autómata, es necesario darle un nombre a este último. En este caso “SERGIO”.

Una vez dado el nombre y el PC reconozca al autómata, se introducirá de forma manual una dirección IP, máscara de subred, y puerta de enlace predeterminada. Usando el teclado numérico de la pantalla HMI.

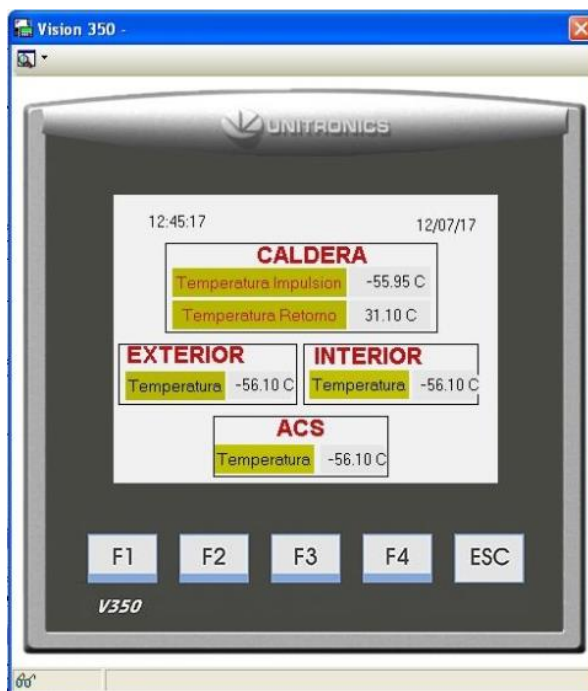


Ilustración 25: temperaturas de control

Para encontrar todas estas direcciones, accediendo a “cmd” (símbolo del sistema) y escribiendo el comando “ipconfig”, aparecerán todas ellas.

Junto con la tarjeta ethernet, es posible comunicar el PLC con el router, haciendo uso del protocolo MODBUS TCP/ IP. Conectando así con el servidor de correo electrónico y con la APP móvil de Unitronics (Remote Operator).



Ilustración 26: Conectividad del PLC

En el apartado de ajustes de la caldera, es posible encontrar cantidad de parámetros a modificar. Tanto de la caldera, como de la bomba de circuladora o el ACS.

- El tiempo de espera, es el tiempo de espera a poner en marcha o parar el PLC una vez se cumpla la condición de temperatura.
- La temperatura de consigna, por su parte indica cuando se pondrá en marcha o detendrá la caldera de gasóleo.



Ilustración 27: Ajustes de la caldera I

- El diferencial de temperatura establece el rango de trabajo, sumando y restando la temperatura de consigna.



Ilustración 28: Ajustes de la caldera II

Accediendo al menú “REGISTROS”, es posible encontrar una herramienta capaz de mostrar todos los datos tomados por los sensores durante un periodo de tiempo.

En el configurador se puede modificar la frecuencia de muestreo de los datos. Estos datos serán visibles en los registros hasta llenar la memoria de la matriz.

Es importante conocer que la matriz tiene 1000 filas, por lo que al almacenar cada uno de los datos 1000 veces, el sistema seguirá almacenando y sobrescribiendo los datos guardados anteriormente.



Ilustración 29: Ajustes del registrador

Por tanto, se ha pensado en la posibilidad de almacenar datos desde una tarjeta SD externa, compatible con el PLC. Este proceso lo se verá con más detalle.

Así pues el menú “REGISTROS” sirve de mucha utilidad en el caso de tener una avería, ya que indica de dónde proviene casi al instante de producirse.

Por último comentar que es posible resetear todos los valores con el botón “Poner a 0”.



Ilustración 30: Toma de Registros

COMPONENTES UTILIZADOS

CONTROLADOR

El controlador V350-35-T2 es un PLC de la familia VISION 350 TM, de la marca UNITRONICS.

Una de las muchas razones por la que se ha elegido este controlador es que tiene autonomía propia en visualización y control, por lo que no hace falta conectarlo a ningún computador, excepto para cargar el programa la primera vez, contando con unas dimensiones de 10.9x11.4x6.8 cm

La interfaz de hombre - máquina, se trata de un modelo que contiene una pantalla táctil de 3,5 pulgadas LCD con 16 bits de resolución y 320 x 240 píxeles. Esta pantalla tiene además cinco botones programables en su parte frontal y un teclado con una función de caracteres a elegir según la complejidad del uso que se le quiera dar.



Ilustración 31

Con más de 500 imágenes por aplicación, 1024 displays, y programas de gráficos y alarmas, además de la posibilidad de manejar un control basado en fecha y hora

(funciones de reloj), o controladores PID, hace que este autómata sea ideal en aplicaciones de medias-altas prestaciones.

En cuanto al PLC, el modelo V350-35-T2 utilizado cuenta con 12 entradas digitales, aunque 2 de ellas pueden ser analógicas. Siendo estas últimas de 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA.

Además de contar con 3 *encoders* rotatorios de alta velocidad (30 KHz, 32 bit) y 12 salidas pnp, pudiendo configurar hasta 7 salidas de alta velocidad. El autómata da la posibilidad de adaptar extensiones (hasta 512 nuevas entradas/salidas).

Resumiendo un poco las diferentes memorias que ofrece el V350-35-T2:

1MB de memoria *ladder* (lenguaje propio de programación), 3MB de memoria para imágenes y 512 KB de memoria para fuentes, incluyendo también ranura de tarjeta micro SD para almacenar datos. Con 8192 bobinas, 4096 registros, 512 enteros largos (32 bits), 256 dobles palabras (32 bits sin signo), 64 memorias, 384 temporizadores, 32 contadores. Operandos no retenibles adicionales: 1024 X-bits, 512 X-números enteros, 256 X-enteros largos y 64 X- dobles palabras nos resulta un PLC muy adecuado para nuestro propósito.

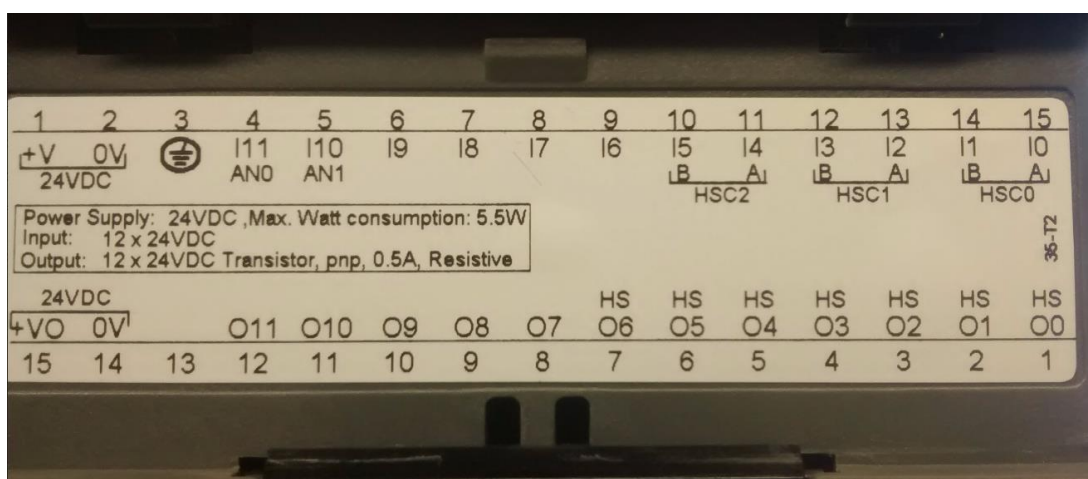


Ilustración 32

MÓDEM



Il·lustració 33

El modelo TL-MR6400 es un modem/router de la compañía tp-link. Este *router* inalámbrico cuenta con tecnología 4G, y nos ayudará en lugares donde no hay conexión DSL (conexión a internet), con lo que solo nos bastará introducir una tarjeta de datos móviles tipo SIM, y disponer de cobertura de red móvil. Además posee una velocidad inalámbrica de hasta 300 Mbps, y una velocidad de descarga de 150 Mbps.

Por otro lado, al utilizar una red exclusiva, se obtiene una comunicación más fluida debido al reducido tráfico de datos a través de ella. Y a la vez aumentando la seguridad, impidiendo que personal no autorizado o la existencia de virus informáticos puedan acceder a nuestro sistema de control.

En su parte trasera, cuenta con cuatro ranuras para conexión ethernet, incluyendo “Red de área amplia” (WAN). Además de la ranura para la tarjeta SIM y nuestra fuente de alimentación.

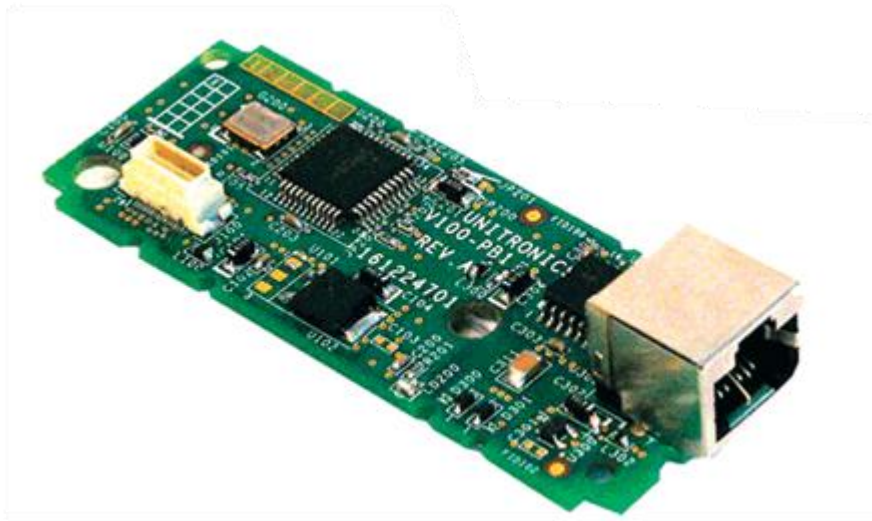


Il·lustració 34

Otra de las ventajas del router, es que cuenta con la función WPS “Wi-Fi Protected Setup”, que básicamente es un estándar que ayuda al usuario a no tener complicaciones a la hora de configurar sus dispositivos en la red (por ejemplo, al introducir claves largas y complejas para acceder al dispositivo). Así lo único que hay que hacer es conectarnos a la red con un dispositivo y pulsar el botón WPS, el router detectará el dispositivo que se quiere conectar a la red de forma automática.

Entrando en la puerta de enlace **192.168.1.1** se configuran todos los apartados del router. Apartado que nos proporciona el fabricante.

EXPANSIÓN DE COMUNICACIÓN: V100-17-ET2



Il·lustració 35

Es necesario añadir un módulo de comunicación para el entendimiento *router*/PLC. De esta forma, se establece un puerto Ethernet al controlador, implementando las comunicaciones a través del protocolo TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión) como es el protocolo MODBUS.

MODBUS permite el control de una red de dispositivos, comunicando todos los resultados a un ordenador. MODBUS también se utiliza para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA).

Nuestro módulo elegido es la expansión de comunicación V100-17-ET2 de la marca UNITRONICS. Su conexión es mediante el puerto RJ45, que conecta con Ethernet con sus ocho pines a una velocidad de transmisión de 10 / 100 Mbps, utilizando una conexión del *switch* en estrella.

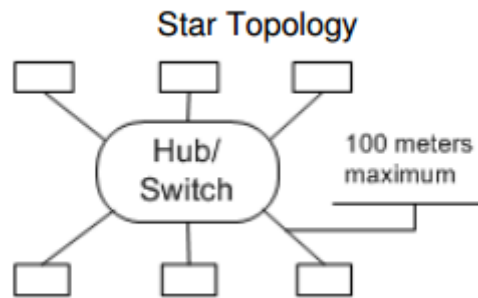


Ilustración 36

En este caso, el V100-17-ET2 tiene una longitud de la línea de caída de hasta cien metros con respecto al *switch*.

MÓDULOS DE EXPANSIÓN

Para ampliar el número de entradas y salidas de nuestro PLC, una etapa de expansión que se compone de dos módulos, interconectados entre ellos se encargara de ello:

MÓDULO ADAPTADOR DE EXPANSIÓN EX-A2X

El EX-A2X se interconecta entre una variedad de módulos de expansión de E/S y los PLC's específicos de Unitronics. Con un solo adaptador se pueden conectar hasta 8 módulos de expansión. El EX-A2X puede montarse a presión en un riel DIN o sobre una placa de montaje, siendo sus dimensiones de 80x93x60 mm.

Component identification	
1	Status indicators
2	COM port, EX-A2X to OPLC
3	Power supply connection points
4	EX-A2X to expansion module connection port

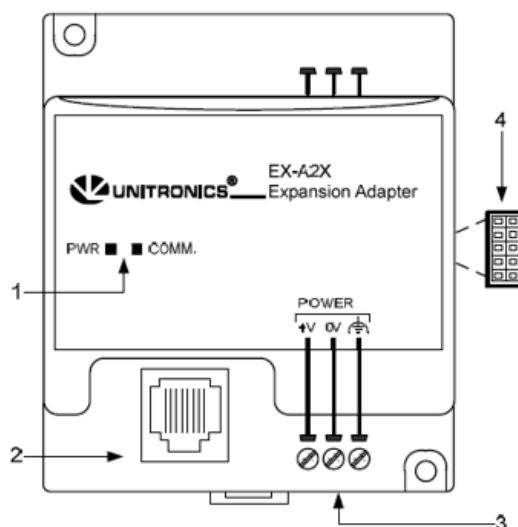


Ilustración 37

Como se puede ver, la conexión es simple. Para ello solo es necesario de *cable tipo EXL-CAB100* entre el módulo adaptador de expansión y nuestro PLC (que nos proporciona el fabricante), ya que viene con un pin para conectar a tierra.

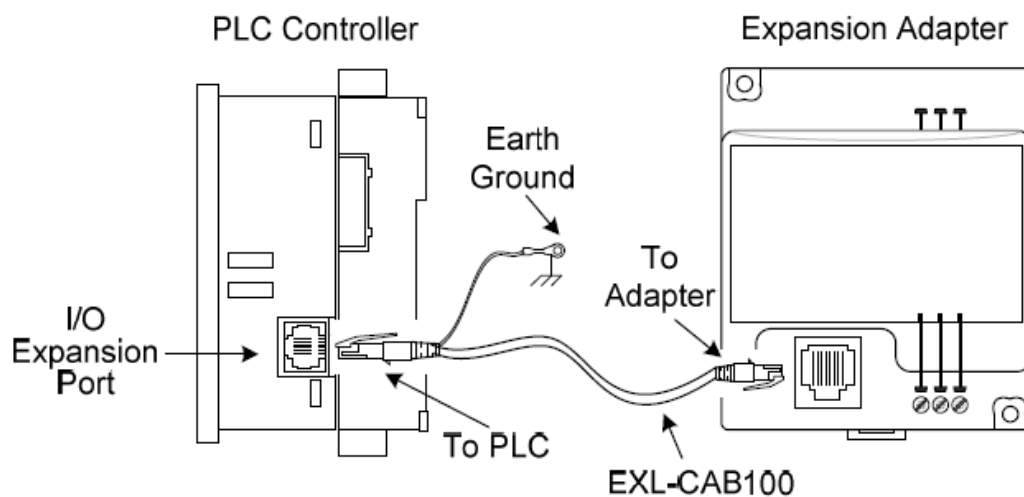


Ilustración 38

El cable *EXL-CAB100* tiene polaridad, es decir, tienen sentido de posición, como podemos ver en la ilustración 38. Proporciona un buen aislamiento frente al ruido eléctrico, y puede alcanzar una distancia máxima de 20 metros entre PLC y módulo adaptador. Además tanto el PLC como el modulo EX-A2X tienen que estar conectados a

la misma fuente de alimentación (12 o 24 VDC), ya que tienen que encenderse y apagarse de forma simultánea.

Los leds *PWR* y *COMM* se encienden cuando se alimenta el módulo y cuando se establece la comunicación respectivamente.

MODULO DE EXPANSIÓN IO-AI4-AO2

En nuestra etapa de expansión se utiliza un módulo que ofrece 4 entradas analógicas de 12 bits, que acepta señales de 0 – 10 V, 0 – 20 mA y de 4 – 20 mA. Y 2 salidas analógicas de 12 bits con signo; con señales de ± 10 V, 0 – 20 mA y de 4 – 20 mA. . El IO-4I4-AO2 puede montarse a presión en un riel DIN o sobre una placa de montaje.

Component identification	
1	Module-to-module connector
2	Communication status indicator
3	Connection points for power supply to analog unit
4	Output connection points
5	Input/Output status indicators
6	Module-to-module connector port
7	Input connection points

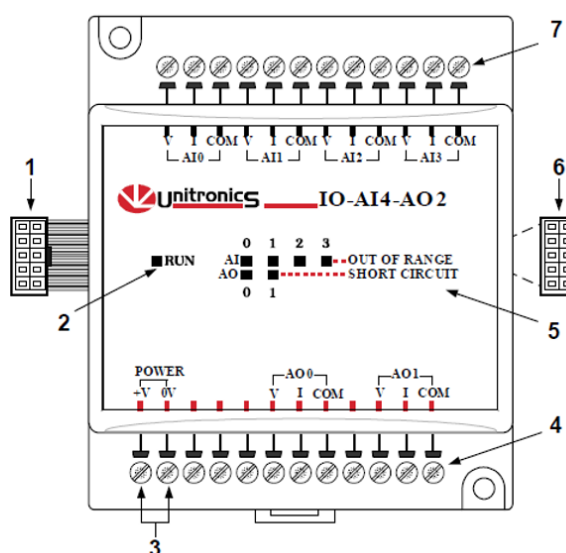


Ilustración 39

El led de color rojo (OUT OF RANGE) se enciende cuando la entrada correspondiente está recibiendo corriente o voltaje por encima de su rango de medida. Cuando una salida que suministra una tensión de salida positiva está conectada a una carga que cortocircuita, el led rojo (SHORT CIRCUIT) se enciende.

Un led verde (RUN) iluminado nos indica que el estado de nuestra comunicación con el PLC es correcta, mientras que parpadeará si esta falla.

CAJA DE PROTECCIÓN

La Caja bopla RCPM 4000, con unas dimensiones de 363 x 318 x 150 mm será nuestra elección para proteger nuestra unidad de control de golpes y agentes externos como polvo o líquidos. En ella, es posible adaptar el carril DIN, para sujetar el controlador y sus extensiones.

Cuenta con certificado “CSA International” (Canadian Standards Association) y protección IP de nivel 65. El nivel de protección IP se encarga de regular el nivel de aislamiento de los equipos eléctricos/electrónicos frente a agentes externos (polvo o agua). Por lo tanto, según esta norma regulada por la Comisión Electrotécnica Internacional, el primer dígito hace referencia a la entrada de cuerpos sólidos (en un nivel de 0 a 6), y el segundo dígito, hace referencia a la entrada de agua (en un nivel de 0 a 8).

En nuestro caso, el IP 65, dará protección total frente al polvo y en el caso del agua, “no debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30 kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.”



Ilustración 40

SENSOR DE TEMPERATURA

Para las entradas analógicas de temperatura se utiliza un transmisor de sensores PT100. El transmisor elegido es el “Baumer FlexTop 2202”, que en nuestro caso es de 3 hilos. Acondicionará la señal de entrada con una precisión de $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, y un error de compensación por cable (puente de Wheatstone) menor a $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ohm}$, con un tiempo de muestreo menor a 0.7 segundos.



Ilustración 41

SENSOR DE NIVEL

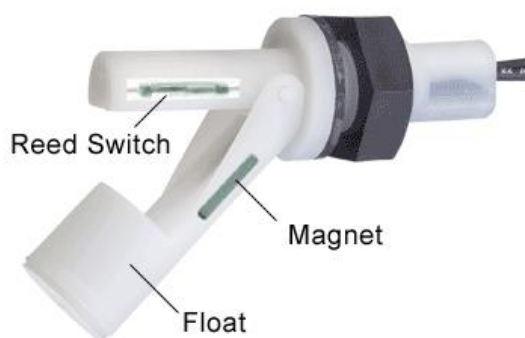


Ilustración 42

Como el líquido que se quiere controlar puede llegar a ser inflamable, se va a utilizar un sensor de nivel tipo “reed switch”. Ya que al tener los contactos sellados al vacío en un tubo de vidrio, evita la posible aparición de alguna chispa. Además, en su montaje queda separada la parte mecánica (dentro del depósito) y la parte electrónica (fuera del mismo) por una tuerca sellada en su caparazón.

Dentro de la familia “RSF40 Series”, se ha elegido el modelo de nylon (338-9700), ya que es un material más adecuado al contacto con combustible que el resto de sintéticos que ofrece la marca.

Tanto su corriente como su voltaje máximos de conmutación de 0.6 A y 120 V respectivamente y la posibilidad de contacto N/A y N/C del sensor, proporcionan de sobras las especificaciones requeridas a un coste reducido.

Conectando sus dos cables como una entrada digital, y este funcionara como un interruptor N/A.

CAUDALÍMETRO

La instalación tiene un total de cuatro radiadores. Para la elección del caudalímetro , se ha buscado en el mercado a través de un valor de referencia máximo aproximado con estas características. El caudal necesario en nuestro radiador será:

$$Q = \frac{P}{(T_e - T_s) \cdot P_e * C_e}$$

Donde:

Q: Caudal máximo necesario en el radiador.

P: Potencia máxima del radiador.

Te: Temperatura de entrada de agua al radiador.

Ts: Temperatura de salida del agua.

Pe: Peso específico del agua.

Ce: Calor específico del agua.

Suponiendo una potencia de 1000Kcal/h y un salto térmico de 10 °C (Te-Ts), se obtiene un caudal de casi 100 l/h, es decir, 1,67 l/min.

Al ser un sistema bitubular (un tubo para impulsión y otro para retorno), se multiplica por cuatro el resultado anterior, por lo que **obtenemos un caudal máximo en la instalación de 6,67 l/min.**

Se ha elegido el modelo “Omega FLR6302D-BSPP”, que es un sensor que funciona con rueda de turbina tipo Pelton. Y que ofrece un rango de trabajo adecuado a los cálculos

(de 1 a 7,5 l/min). Este modelo dispone de pantalla de visualización y transmite la información con una señal analógica de 4 – 20 mA al PLC.



Il·lustració 43

Aunque se han encontrado sensores de caudal más económicos en el mercado, su principal inconveniente es su temperatura de trabajo, que rara vez supera los 50 °C.

En este caso, con un rango de -29 a 116 °C, es más que suficiente para esta aplicación.

PROPUESTA ECONÓMICA

La propuesta económica se ha realizado simulando un trabajo de investigación llevado a cabo dentro de una empresa. Por tanto se han de tener en cuenta los apartados que se muestran a continuación.

MATERIAL DE LABORATORIO

Denominación	Cantidad	Precio Unitario (€)	Importe (€)
▪ Micro PLC Unitronics V350-35-T2	1	389	389
▪ Expansión de comunicación V100-17-ET2	1	27	27
▪ Módulo adaptador de expansión EX-A2X	1	50	50
▪ Módulo de expansión IO-AI4-AO2	1	150	150
▪ Caja Bopla RCPM 4000	1	77,82	77,82
▪ Tarjeta memoria MicroSD 1 GB TRANSCEND	1	6,9	6,9
▪ Modem / Router TP- Link TL-MR6400	1	105	105
▪ Cable informática UTP 4x2x0.52 cat 6 (10 m)	1	0,28	0,28
▪ Pulsador setas de emergencia D-22 Siemens	1	11,7	11,7
▪ Sonda PT-100 a 3 hilos L=40mm y 2m de manguera de silicona.	4	8,22	32,88
▪ Transmisor Bourdon para PT-100 Flextop 2202	4	41,79	167,16
▪ Caudalímetro FLR6302D-BSPP	1	620,15	620,15
▪ Sensor de nivel tipo Reed switch	1	9,5	9,5
▪ Relé 2C 230VAC 8A 12.7mm	1	4,7	4,7
▪ Pequeño material	1	0,00	0
IVA (21%)			
TOTAL			1999,03

MANO DE OBRA

En este apartado de presupuesto se tiene en cuenta el coste del personal encargado de realizar el proyecto. Por tanto, consideraremos el salario base de una persona, que en este caso es un ingeniero y además se tendrán en cuenta los cargos sociales especificados a continuación.

CARGOS SOCIALES:

	Porcentaje
Indemnización despido	2%
Seguros de accidente	4%
Subsidio familiar	2%
Subsidio vejez	4%
Abono días festivos	9%
Días de enfermedad	1%
Cargas familiares	2%
Gratificación extraordinaria	9%
TOTAL	33%

SALARIO EFECTIVO:

	Meses	Salario base (€)	Cargos sociales (€)	Salario total (€)
Ingeniero Técnico Industrial especialidad electrónica	1	1400	462	1862

PRESUPUESTO TOTAL

El I.V.A. ha sido añadido en cada apartado, de esta forma, no es necesario añadirlo aquí.

El beneficio industrial considerado es de un 25%, por lo que queda:

Coste material Laboratorio	1999,03 €
Coste personal	1862 €
Beneficio Industrial (25%)	499,76 €
COSTE TOTAL	4360,79 €

El coste total asciende a la cantidad de CUATRO MIL TRESCIENTOS SESENTA euros y TETENTA Y NUEVE céntimos de euro.

CONCLUSIONES

En este trabajo, el principal requerimiento del cliente era poder controlar de forma rápida y accesible buena parte de sistema de calefacción de su instalación. Avisándole, en caso de anomalía, evitando así revisiones constantes de mantenimiento.

Podrá controlar y visualizar la potencia consumida de su SCADA en tiempo real, con la posibilidad de añadir o modificar parámetros o alertas en proyectos futuros.

Queda clara la gran aplicación del PLC / HMI en el mundo de la automatización y el control, y aunque la inversión inicial puede parecer elevada, a largo plazo quedará demostrado que resulta rentable aprovechar y optimizar las condiciones exteriores, con el consiguiente ahorro energético y económico.

Como valoración personal, el mundo industrial avanza a pasos agigantados desde hace unos pocos años atrás, por lo que renovar y optimizar cualquier proceso, será indispensable.

REFERENCIAS

- I. Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias. Real Decreto 842/2002.
- II. <https://unitronicsplc.com/vision-series-vision350>
- III. http://www.pl-systems.fr/wa_files/V350-35-T2_INSTAL-GUIDE_10-08.pdf
- IV. <http://www.ni.com/white-paper/52134/es>
- V. <http://www.side-automatizacion.com/es/system/files/suport/brochure-vision.pdf>
- VI. http://support.elmark.com.pl/unitronics/PDF/VisiLogic_Software_Manual-Function_Blocks.pdf
- VII. https://unitronicsplc.com/Download/SoftwareHelp/VisiLogic_Knowledgebase/Ladder/Functions/Communications-Ladder_Functions/Send_e-mail.htm
- VIII. <https://unitronicsplc.com/vision-series-vision350/>
- IX. https://unitronicsplc.com/wp-content/uploads/2015/12/V100-17-ET2_S_TECH-SPEC_10-13.pdf
- X. https://www.tp-link.com/es/products/details/cat-4691_TL-MR6400.html#specifications
- XI. http://media.klinkmann.fi/catalogue/en/Unitronics/Unitronics_EX-A2X_IO_Expansion_en_0511.pdf
- XII. <https://www.bopla.de/es/division-de-envolventes/product/reglocard-pluscombifrontintercard/reglocard-plus-con-tapa-transparente-con-bisagra-y-cierre-de-encastre-ip-65/rcpm-4000.html>
- XIII. <http://jjackson.eng.ua.edu/courses/ece485/lectures/VisiLogic%20-%20Ladder%20Programming.pdf>
- XIV. <http://www.side-automatizacion.com/es/system/files/suport/visilogic20-20communications.pdf>
- XV. <http://support.elmark.com.pl/unitronics/PDF/unitronics%20sd%20cards.pdf>
- XVI. https://unitronicsplc.com/wp-content/uploads/2015/12/Unitronics_Remote_Operator_AppQuickStart.pdf
- XVII. [https://static.tp-link.com/7106507445_TL-MR6400\(EU\)_V2_QIG.pdf](https://static.tp-link.com/7106507445_TL-MR6400(EU)_V2_QIG.pdf)
- XVIII. https://www.tme.eu/gb/Document/3a00cc2c17f49c7f09c662afa4c8c411/FlexTop_2202.PDF

- XIX. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/15b6/0900766b815b60d2.pdf>
- XX. <https://es.omega.com/green/pdf/FLR-D.pdf>